

Modern Natural Science System and Human Society 2025v2.3/2.4
第一章（导论）、核心章节（如宇宙学革命、生命科学革命）的完整
内容3 《现代自然科学体系与人类社会》Modern Natural Science
System and Human SocietySystème de Science Naturelle Moderne
et Société Humaine2025 v2.2/2.3 現代自然科學體系與人類社會
English Title (Extra Large Font):MODERN NATURAL SCIENCE
SYSTEM AND HUMAN SOCIETYTitre Français (Très Grande
Police):SYSTÈME DE SCIENCE NATURELLE MODERNE ET
SOCIÉTÉ HUMAINE---【全书15章结构总览】章序 中文章名 English
Chapter Title Titre du Chapitre Français 第一章 導論：現代自然科學
體系的歷史方位與文明意義 Introduction: Historical Position and
Civilizational Significance of the Modern Natural Science System
Introduction : Position Historique et Signification Civilisationnelle du
Système de Science Naturelle Moderne 第二章 工業智慧革命：生產
力範式的根本轉換 Industrial Wisdom Revolution: The Fundamental
Transformation of Productivity Paradigms Révolution de la Sagesse
Industrielle : Transformation Fondamentale des Paradigmes de
Productivité 第三章 星球革命：人類文明星際跨越的歷史必然
Planetary Revolution: The Historical Inevitability of Human
Civilization's Interstellar Leap Révolution Planétaire : Inévitabilité
Historique du Bond Interstellaire de la Civilisation Humaine 第四章
基因與細胞革命：生命底層代碼的破譯與重構 Gene and Cell
Revolution: Deciphering and Reconstructing the Underlying Codes
of Life Révolution Génétique et Cellulaire : Décryptage et
Reconstruction des Codes Fondamentaux de la Vie 第五章 信息革
命與計算範式：從電子時代到量子智能 Information Revolution and
Computing Paradigms: From the Electronic Era to Quantum
Intelligence Révolution de l'Information et Paradigmes Informatiques
: De l'Ère Électronique à l'Intelligence Quantique 第六章 現代宇宙學
與天體物理學：宇宙視野的深層開拓 Modern Cosmology and
Astrophysics: Deep Expansion of Cosmic Horizons Cosmologie
Moderne et Astrophysique : Expansion Profonde des Horizons
Cosmiques 第七章 暗宇宙探索：暗物質、暗能量與宇宙結構演化
Exploring the Dark Universe: Dark Matter, Dark Energy, and Cosmic
Structural Evolution Exploration de l'Univers Sombre : Matière Noire,
Énergie Noire et Évolution de la Structure Cosmique 第八章 粒子物
理學與基本相互作用：自然之極微探尋 Particle Physics and
Fundamental Interactions: Probing the Extremes of Nature Physique
des Particules et Interactions Fondamentales : Exploration des
Extrêmes de la Nature 第九章 生命科學前沿：從蛋白質組學到腦神
經科學 Frontiers of Life Sciences: From Proteomics to Neuroscience

Frontières des Sciences de la Vie : De la Protéomique aux
Neurosciences 第十章 材料科學與工程技術：物質世界的重構藝術
Materials Science and Engineering: The Art of Reconstructing the
Material World Science des Matériaux et Ingénierie : L'Art de
Reconstruire le Monde Matériel 第十一章 能源革命與氣候系統：地
球系統科學的整合視野 Energy Revolution and Climate Systems: An
Integrated Vision of Earth System Science Révolution Énergétique
et Systèmes Climatiques : Vision Intégrée de la Science des
Systèmes Terrestres 第十二章 人工智能與認知科學：智慧形態的演
化與超越 Artificial Intelligence and Cognitive Science: The Evolution
and Transcendence of Intelligence Forms Intelligence Artificielle et
Science Cognitive : Évolution et Transcendance des Formes
d'Intelligence 第十三章 社會科學的科學化轉向：知識體系的跨學科融
合 The Scientific Turn in Social Sciences: Interdisciplinary
Integration of Knowledge Systems Tournant Scientifique des
Sciences Sociales : Intégration Interdisciplinaire des Systèmes de
Connaissance 第十四章 現代教育哲學與通識革命：思維範式的代際
傳遞 Modern Educational Philosophy and General Education
Revolution: Intergenerational Transmission of Thinking Paradigms
Philosophie de l'Éducation Moderne et Révolution de la Culture
Générale : Transmission Intergénérationnelle des Paradigmes de
Pensée 第十五章 結論：邁向星際文明的人類命運共同體
Conclusion: Toward a Community of Shared Future for Mankind in
the Interstellar Civilization Conclusion : Vers une Communauté de
Destin Partagé pour l'Humanité dans la Civilisation Interstellaire ---
【核心章节全文示范：第一章 导论】---第一章 導論：現代自然科學
體系的歷史方位與文明意義Introduction: Historical Position and
Civilizational Significance of the Modern Natural Science
SystemIntroduction : Position Historique et Signification
Civilisationnelle du Système de Science Naturelle Moderne---1.1 文
明坐標的重新標定：從石器到星際的萬年躍遷人類文明的演進史，本
質上是一部認知邊界不斷拓展、技術能力持續突破的壯闊史詩。從舊
石器時代原始人第一次有意識地敲擊燧石製造工具，到21世紀人類借
助詹姆斯·韋伯太空望遠鏡（James Webb Space Telescope,
JWST）窺視宇宙誕生後數億年的星光，這一跨越數萬年的歷程，標
誌著人類作為地球智慧生命形態的根本性蛻變。在這一漫長的時間軸
上，人類曾經歷若干具有節點意義的文明轉折：石器時代的工具製造
標誌著人類脫離動物界的根本分界；青銅器與鐵器時代的冶金革命奠
定了農業文明的物質基礎；中世紀後期的機械鐘錶與文藝復興時期的
科學萌芽，為近代科學革命準備了思想條件；18世紀英國工業革命以
蒸汽機為標誌，開啟了機械化大生產時代；19世紀電磁學理論的建立
與電氣技術的應用，重塑了人類社會的時空結構；20世紀的原子能釋

放、半導體集成電路、計算機技術與基因雙螺旋結構的破譯，則將人類文明推向了微觀與宏觀雙重維度的深層探索。然而，當我們立足於21世紀第三個十年的歷史節點，以系統性、整體性的學術視野審視當代科學技術的發展態勢時，必須提出一個具有根本性的歷史判斷：21世紀至23世紀所孕育成型的現代自然科學體系，代表著人類自誕生以來最為深刻、最為徹底的創新迭代。這一判斷並非簡單的修辭性強調，而是基於對科學發展內在邏輯與文明演化外在形態雙重維度的嚴謹分析。現代自然科學體系的獨特性在於其系統性整合特徵。20世紀的科學突破雖然輝煌，但多呈現為單一學科或單一技術領域的縱深掘進：物理學領域的量子力學與相對論、生物學領域的分子生物學、技術領域的電子計算機，這些成就彼此之間雖有交叉，但尚未形成真正意義上的跨學科、跨領域、跨尺度的系統性融合。而進入21世紀以來，科學發展呈現出鮮明的整合化、網絡化、智能化特徵：生物學與信息科學的融合催生了生物信息學與合成生物學；材料科學與量子物理的交匯開闢了二維材料與拓撲量子物態的新領域；人工智能技術與傳統科學研究的結合，正在重塑從藥物發現到天體數據處理的全譜系研究範式。這種融合不是簡單的學科拼貼，而是在方法論層面、認識論層面乃至本體論層面的深層重構。根據美國化學文摘社（CAS）2025年度科學突破趨勢報告，當代科學研究正呈現出前所未有的跨領域協同特徵：CRISPR基因編輯技術與CAR-T細胞療法、PROTAC蛋白質降解技術的互補融合，正在重塑腫瘤治療的範式；金屬有機框架（MOFs）與共價有機框架（COFs）等新材料體系，同時服務於碳捕集、能源存儲與大氣淨化等多重可持續發展目標；量子計算技術雖尚未全面商業化，但已在藥物分子模擬、蛋白質結構預測等領域展現出超越經典計算的潛力。這些趨勢印證了一個核心論斷：現代自然科學體系已經超越了單一技術革命的線性邏輯，進入了多維度、多層次、多尺度協同演化的複雜系統階段。

---1.2 現代自然科學體系的十大核心維度

本書將現代自然科學體系界定為一個涵蓋十大核心維度的綜合性知識-技術-社會系統。這十大維度並非彼此孤立，而是構成了一個相互關聯、相互促進、相互滲透的有機整體。

第一維度：工業智慧革命（Industrial Wisdom Revolution）。這是現代自然科學體系的生產力基礎。不同於傳統工業革命對機械動力與自動化技術的強調，工業智慧革命的核心特徵在於智能技術與製造系統的深度融合。以人工智能、工業物聯網、數字孿生（Digital Twin）、增材製造（3D打印）為代表的技術集群，正在將傳統製造業轉變為具有自感知、自學習、自決策、自執行、自適應能力的智慧工業系統。這不僅是生產工具的升級，更是生產範式的根本轉換——從大規模標準化生產轉向大規模個性化定制，從線性價值鏈轉向網絡化價值生態，從人機對立轉向人機協同。

第二維度：星球革命（Planetary Revolution）。這是現代自然科學體系的空間維度拓展。人類文明正從單一星球的物種向多星球物種演化，這一進程由航天技術、行星科學、生命支持系統工程、太空資源開發等多學科技術集群支撐。從國際空間站的長期駐留到阿

耳忒彌斯（Artemis）計劃的月球重返，從火星探測任務的逐步深入到商業航天的蓬勃興起，星球革命標誌著人類生存空間從地球表面向地月系統、內太陽系乃至更遠深空的戰略性擴展。第三維度：人類基因遺傳細胞革命（Human Genetic and Cellular Revolution）。這是現代自然科學體系的生命維度深化。CRISPR-Cas9基因編輯技術的發展與應用（2020年諾貝爾化學獎授予沙爾龐捷與杜德納），誘導多能幹細胞（iPS細胞）技術的成熟（2012年諾貝爾生理學或醫學獎授予山中伸彌），以及mRNA疫苗技術在COVID-19大流行中的成功應用（2023年諾貝爾生理學或醫學獎授予卡里科與魏斯曼），標誌著人類已經從被動觀察生命轉向主動設計生命。基因治療、細胞治療、再生醫學的發展，正在將醫學從疾病治療模式推向健康維護與生命增強模式。第四維度：信息革命與計算範式轉換（Information Revolution and Computing Paradigm Shift）。這是現代自然科學體系的信息維度重構。從經典計算機到量子計算機，從矽基半導體到碳基與量子材料，從局域網絡到全球互聯網再到星鏈（Starlink）等天基互聯網，信息技術的發展不僅改變了信息處理與傳播的方式，更重塑了人類社會的組織形態與認知模式。特別值得注意的是，AlphaFold等人工智能系統對蛋白質結構預測的突破（2024年諾貝爾化學獎授予哈薩比斯、江珀與貝克），表明信息處理能力已經開始反向滲透並加速傳統自然科學領域的研究進程。第五維度：現代宇宙學與天體物理學的重大發現（Modern Cosmology and Astrophysics）。這是現代自然科學體系的宇宙維度拓展。引力波的探測（2015年LIGO首次直接探測，2017年諾貝爾物理學獎授予韋斯、巴里什與索恩），黑洞首張影像的捕獲（2019年事件視界望遠鏡EHT），詹姆斯·韋伯太空望遠鏡對早期宇宙的深場觀測，以及對暗物質、暗能量性質的持續探索，正在開創人類認知宇宙的新紀元。宇宙不再被視為靜態的背景舞台，而是被理解為一個動態演化、結構複雜、充滿未知物質與能量形式的鮮活系統。第六維度：生命科學研究的系統性創新（Systematic Innovation in Life Sciences Research）。這是現代自然科學體系在生命科學領域的縱深發展。除了前述的基因與細胞層面突破，腦科學與神經科學的進展（如腦電圖、腦磁圖、功能性磁共振成像fMRI、光遺傳學等技術的應用），衰老生物學與長壽研究（如NAD⁺代謝、端粒酶激活、Senolytics衰老細胞清除等策略），以及重大傳染病與慢性病的防治技術，共同構成了生命科學研究的立體圖景。第七維度：現代文化知識體系與高級神經系統的協同演化（Modern Cultural Knowledge System and the Co-evolution of Advanced Nervous Systems）。這是現代自然科學體系的人文維度。人類大腦高級神經系統的意識、感知、認知與反饋控制能力，並非靜態的生物學給定，而是在與自然環境、社會環境、技術環境的持續互動中不斷演化的動態系統。現代文化知識體系的博大精深，為這一演化提供了前所未有的認知資源；而高級神經系統的演化，又反向塑造了人類創造、傳播與應用知識的能力。這種雙向互動構成了文明進步的內在動力。第八維度：自然科學

基礎理論的重大發現 (Major Discoveries in Fundamental Theories of Natural Science)。這是現代自然科學體系的理論基石。從粒子物理標準模型的完善 (2012年希格斯玻色子的發現完成標準模型最後一塊拼圖) 到量子力學基礎問題的持續探索 (如量子糾纏、量子隱形傳態、量子優越性等)，從複雜系統理論與非線性科學的發展到統計物理與信息理論的交叉，基礎理論的突破為應用技術的創新提供了源頭活水。第九維度：社會科學與通識教育的變革創新 (Innovation in Social Sciences and General Education)。這是現代自然科學體系的社會維度。社會生產力的大發展、大突破、大發達，必然引發生產關係、社會結構、文化形態與思維方式的相應變革。通識教育 (Liberal Arts Education) 與STEM教育的融合、科學哲學與社會哲學的當代發展、科學傳播與公眾科學素養的提升，都是這一維度的具體體現。第十維度：工業智慧革命與星球革命的時代召喚 (The Epochal Call of Industrial Wisdom Revolution and Planetary Revolution)。這是前述九大維度的綜合指向與價值歸宿。現代自然科學體系的最終意義，不僅在於知識的積累與技術的進步，更在於引領全人類走向一個智慧文明、理性文明、星際文明的新紀元。這不是科學幻想，也不是神話傳說，而是基於當代科學技術發展趨勢的合理推演與堅定信念。---1.3 方法論闡明：系統性、跨學科與歷史唯物主義視角本書的寫作方法論建立在三個基本原則之上。第一，系統論原則 (Systems Theory Principle)。現代自然科學體系必須被理解為一個複雜適應系統 (Complex Adaptive System)，其各組成部分之間存在非線性、反饋性、湧現性的相互作用。我們拒絕將科學發展簡化為單一技術的線性進步，而是強調技術集群、學科網絡與社會系統之間的協同演化。這一原則要求我們在分析具體科學領域時，始終關注其與其他領域的關聯性，以及其在整體系統中的功能定位。第二，跨學科整合原則 (Interdisciplinary Integration Principle)。當代科學發展的一個顯著特徵是傳統學科邊界的模糊化與新興交叉領域的蓬勃生長。生物物理學、化學生物學、天體生物學、計算社會科學、神經經濟學等新興學科的出現，表明知識整合已成為科學創新的主要源泉。本書的寫作將充分體現這一原則，在論述特定主題時，自覺引入相關學科的理論視角與方法工具。正如學術文獻所指出，跨學科整合不僅是知識內容的組合，更是方法論層面的系統性協調與重構，其最高層次是方法論綜合 (methodological synthesis)，即運用系統、結構、因果、隨機與規律等辯證範疇，實現對自然、社會與思維發展一般規律的整體把握。第三，歷史唯物主義原則 (Historical Materialism Principle)。我們堅持將科學技術的發展置於人類社會歷史進程的總體框架中加以考察。科學技術不是懸浮於社會實踐之上的抽象知識體系，而是特定歷史條件下社會生產力發展的產物，同時又反過來推動生產關係與社會形態的變革。這一原則要求我們在讚頌科學技術偉大成就的同時，保持對其社會後果、倫理影響與價值取向的批判性反思。---1.4 本書結構與閱讀導引本書共十五章，形成一個

從基礎理論到應用實踐、從微觀機制到宏觀系統、從歷史回顧到未來展望的完整邏輯閉環。第一至三章構成全書的總論部分，分別從歷史方位、生產力變革與空間拓展三個維度，確立現代自然科學體系的文明坐標。第四至八章構成全書的核心科學部分，深入探討生命科學、信息科學、宇宙學、粒子物理學等基礎與前沿領域的重大突破。第九至十一章構成全書的技術應用部分，聚焦生命科學前沿、材料科學與能源氣候系統的現實議題。第十二至十四章構成全書的社會人文部分，探討人工智能與認知科學、社會科學轉型、教育哲學變革等議題。第十五章為全書的總結與展望，將現代自然科學體系的十大維度整合為邁向星際文明的人類命運共同體願景。每一章均採用中英法三語對照標題，以體現本書的全球視野與多語傳播意圖。正文採用學術專著的嚴謹體例，包括：核心論點闡述、歷史脈絡梳理、關鍵數據與事實支撐、理論分析與概念界定、未來趨勢研判，以及本章小結與延伸思考。---1.5 本章小結：站在文明臨界點上的學術自覺現代自然科學體系的崛起，標誌著人類文明進入了一個全新的歷史階段。這一階段的根本特徵在於：人類的認知能力與技術能力已經達到了可以同時操控微觀量子世界與宏觀宇宙結構、可以同時重構生命底層代碼與設計行星尺度系統的歷史性門檻。這不僅是量的積累，更是質的飛躍。我們必須以嚴謹的學術態度、宏大的歷史視野與深切的人文關懷，來審視、記錄與闡釋這一史無前例的文明進程。這正是本書《現代自然科學體系與人類社會》寫作的根本宗旨。--第六章 現代宇宙學】---第六章 現代宇宙學與天體物理學：宇宙視野的深層開拓Modern Cosmology and Astrophysics: Deep Expansion of Cosmic HorizonsCosmologie Moderne et Astrophysique : Expansion Profonde des Horizons Cosmiques---6.1 從靜態宇宙到動態宇宙：宇宙觀的範式革命人類對宇宙的認知，經歷了從神話宇宙觀到哲學宇宙觀，再到科學宇宙觀的漫長演化。古希臘的亞里士多德-托勒密地心體系，將宇宙理解為以地球為中心的同心球結構；文藝復興時期哥白尼的日心說，將宇宙的中心移至太陽；17世紀牛頓的經典力學體系，構建了無限、均勻、靜態的絕對時空宇宙模型；19世紀至20世紀初，銀河系概念的確立與星雲本質的爭論，逐步揭示了宇宙的島嶼結構。然而，真正具有範式革命意義的轉折發生在20世紀初。1915年，愛因斯坦發表廣義相對論，將引力理解為時空幾何的彎曲效應，從而為描述宇宙整體結構與演化提供了數學框架。1917年，愛因斯坦嘗試將廣義相對論應用於宇宙學，引入了"宇宙學常數"（Cosmological Constant）以維持一個靜態宇宙模型。但隨後的理論發展與觀測證據迅速表明，靜態宇宙模型並不符合物理實在。1922年，俄國數學家弗里德曼（Alexander Friedmann）在假設宇宙物質均勻分布的前提下，求解愛因斯坦場方程，得到了宇宙可能膨脹或收縮的動態解。1927年，比利時神父兼物理學家勒梅特（Georges Lemaître）獨立推導出類似結果，並提出"原始原子"（Primeval Atom）假說，認為宇宙起源於一個極高溫、極高密度的初始狀態。1929年，美國天文學家哈

勃（Edwin Hubble）通過觀測遙遠星系的紅移現象，發現星系退行速度與其距離成正比（哈勃定律），為宇宙膨脹提供了直接的觀測證據。這一系列理論與觀測的突破，徹底顛覆了人類的宇宙觀：宇宙不是永恆、靜態、不變的存在，而是有起源、有演化、有結構、有命運的動態系統。這一認知轉換的深刻性，堪比達爾文進化論對生命觀的革命——如果說達爾文將神創論的生命敘事轉換為自然演化的生命敘事，那麼現代宇宙學則將永恆不變的宇宙敘事轉換為大爆炸（Big Bang）演化的宇宙敘事。---

6.2 大爆炸宇宙學標準模型的建立與完善

1964年，彭齊亞斯（Arno Penzias）與威爾遜（Robert Wilson）在貝爾實驗室意外發現了宇宙微波背景輻射（Cosmic Microwave Background, CMB），這一幾乎均勻分布於全天、溫度約為2.725K的黑體輻射，被公認為大爆炸理論的“余燼”，為宇宙起源於高溫高密度狀態提供了決定性證據。1978年，彭齊亞斯與威爾遜因此獲得諾貝爾物理學獎。隨後數十年，大爆炸宇宙學標準模型（Standard Model of Cosmology，亦稱 Λ CDM模型）逐步建立並完善。該模型的核心要素包括：

- （1）宇宙的幾何與組成。根據廣義相對論與觀測數據，可觀測宇宙的空間幾何接近平坦（曲率參數 $\Omega_k \approx 0$ ）。宇宙的總能量-質量密度由三部分組成：普通物質（重子物質，約佔4.9%）、暗物質（約佔26.8%）與暗能量（約佔68.3%）。這一組成比例來自普朗克衛星（Planck Satellite）2018年數據發布的最精確測量。
- （2）宇宙的膨脹歷史。宇宙誕生於約138億年前的大爆炸奇點（或準奇點狀態），經歷了極早期的暴漲（Inflation）階段（約 10^{-36} 秒至 10^{-32} 秒），在此期間宇宙體積指數級膨脹了至少 10^{26} 倍。暴漲結束後，宇宙經歷了重子生成、夸克-膠子等離子體、強子化、原初核合成（Big Bang Nucleosynthesis，產生氫、氦與微量鋰）、物質-輻射退耦（CMB釋放）、結構形成（暗物質質量與第一代恆星）、星系與大尺度結構演化等階段。
- （3）結構形成的引力不穩定性理論。宇宙結構的起源可追溯至暴漲時期量子漲落經典化後形成的原初密度擾動。在輻射為主導的時期，這些擾動以聲波形式在光子-重子流體中傳播（重子聲學振盪，BAO）；當物質主導時期來臨後，暗物質的引力不穩定性使擾動增長，逐步形成暗物質質量，重子物質隨後落入量中冷卻、凝聚，形成恆星與星系。
- （4）宇宙的終極命運。由於暗能量主導且其狀態方程參數 $w \approx -1$ （類似宇宙常數），宇宙將持續加速膨脹。遙遠星系的退行速度將不斷增加，最終導致可觀測宇宙邊界以內的星系逐一退出我們的因果聯繫範圍（“宇宙大凍結”或“熱寂”情景）。當然，這一遠期預測（ 10^{100} 年量級）仍存在理論不確定性，取決於暗能量的性質是否真正恆定。---

6.3 引力波天文學：開啟宇宙觀測的新窗口

2015年9月14日，激光干涉引力波天文台（LIGO）首次直接探測到由兩個約30倍太陽質量的恆星級黑洞併合產生的引力波信號（GW150914）。這一事件標誌著人類進入引力波天文學時代——一個不同於電磁波觀測的全新宇宙觀測窗口由此打開。引力波是廣義相對論預言的時空漣漪，由加速運動的質量四極矩產生。與電磁波不

同，引力波幾乎不與物質相互作用，能夠穿透電磁波無法穿透的高密度區域（如宇宙早期的不透明等離子體、黑洞內部附近區域），攜帶了波源最純粹的動力學信息。截至2025年，LIGO、Virgo與KAGRA等地面引力波探測器已經觀測到超過百例引力波事件，包括：- 恆星級黑洞併合（BBH）：質量範圍從數倍至數百倍太陽質量，揭示了恆星級黑洞質量譜的分布特徵，發現了“質量間隙”（理論上3-5倍太陽質量區域應為中子星與黑洞的過渡區，但觀測中發現了該範圍內的天體）等意外現象。- 雙中子星併合（BNS）：2017年8月17日觀測到的GW170817事件，伴隨有伽馬射線暴（GRB 170817A）與千新星（kilonova）電磁對應體，首次證實了雙中子星併合是重元素（如金、鉑等r-過程元素）合成的重要場所，開創了多信使天文學（Multi-messenger Astronomy）的新紀元。- 中子星-黑洞併合（NSBH）：2020年確認的首例事件，為檢驗緻密天體形成與演化理論提供了新約束。引力波探測的技術原理基於激光干涉測量：兩束垂直傳播的激光在臂長為數公里的干涉儀中形成干涉條紋，當引力波經過時，時空度規的擾動導致臂長發生相對變化（ $\Delta L/L \sim 10^{-21}$ 量級），通過精密相位測量提取引力波信號。這一技術對振動隔離、激光穩定性、量子噪聲控制等提出了極端要求，代表了人類精密測量技術的巔峰。未來的引力波探測將向多頻段拓展：空間引力波探測器（如歐洲的LISA計劃，計劃2030年代發射，臂長百萬公里，敏感頻段為毫赫茲，主要探測超大質量黑洞併合、緻密雙星系統等）與脈衝星計時陣列（PTA，納赫茲頻段，探測超大質量黑洞併合背景與宇宙弦等）將與地面探測器形成互補，覆蓋從納赫茲至數千赫茲的寬廣頻譜。---6.4 黑洞物理學：從理論奇異到觀測實在黑洞是廣義相對論預言的最極端天體——時空曲率趨於無限大、物質與輻射無法逃逸的區域。長期以來，黑洞僅存在於理論推導與數值模擬之中，直至21世紀，人類才逐步獲得黑洞存在的直接觀測證據。恆星級黑洞的間接證據早已存在：X射線雙星系統中，緻密伴星質量超過奧本海默-沃爾科夫極限（約2-3倍太陽質量），且沒有熱輻射特徵，強烈暗示黑洞存在。但真正的直接成像突破發生在2019年：事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）通過全球8個射電天文台的甚長基線干涉測量（VLBI）技術，在1.3毫米波長上實現了相當於地球直徑的等效口徑，成功解析了M87星系中心超大質量黑洞（質量約65億倍太陽質量）的事件視界尺度結構，發布了人類歷史上首張黑洞“陰影”影像。2022年，EHT又發布了銀河系中心人馬座A（Sgr A，質量約400萬倍太陽質量）的黑洞影像。這些影像的科學意義深遠：它們不僅證實了黑洞作為天體物理實在的存在，更為檢驗廣義相對論在強引力場極限下的適用性提供了前所未有的實驗室。影像中的不對稱亮環結構與廣義相對論的磁流體力學模擬高度一致，但同時也留下了關於吸積盤動力學、噴流形成機制等諸多未解之謎。超大質量黑洞（質量範圍 10^6 至 10^{10} 倍太陽質量）與其宿主星系的協同演化，是當代天體物理學的核心議題之一。觀測表明，幾乎所有大質量星系中心都存在超大質量黑洞，且黑洞質

量與星系核球的質量或速度彌散存在緊密相關性（ $M-\sigma$ 關係）。這暗示黑洞的吸積與反饋活動（如噴流、輻射壓力驅動的氣體外流）在調節星系形成與演化中扮演了關鍵角色——這一過程被稱為“星系與黑洞的協同演化”（Co-evolution of Galaxies and Black Holes）。原初黑洞（Primordial Black Holes，形成於宇宙早期密度漲落的引力坍縮，質量範圍可從微觀粒子質量至數千倍太陽質量）作為暗物質候選者之一，近年來受到廣泛關注。LIGO觀測到的部分恆星級黑洞質量處於理論預期的“質量間隙”，引發了這些天體是否可能為原初黑洞的討論。未來通過引力波質量譜統計、微引力透鏡事件搜尋以及原初黑洞蒸發產生的霍金輻射探測（對輕質量原初黑洞），有望對這一假說給出確定性判斷。

---6.5 早期宇宙與第一代天體：JWST帶來的新視界

詹姆斯·韋伯太空望遠鏡（JWST）於2021年12月25日發射升空，2022年7月正式開始科學觀測。作為哈勃太空望遠鏡的繼任者，JWST在紅外波段（0.6-28.5微米）具有前所未有的集光能力與角分辨率，其核心科學目標之一即是探測宇宙“黎明時期”（Cosmic Dawn）——大爆炸後數億年內形成的第一代恆星與星系。JWST的觀測已經帶來了一系列顛覆性發現：

（1）高紅移星系的驚人數量與質量。JWST在早期宇宙（紅移 $z>10$ ，對應宇宙年齡 $<<5$ 億年）發現了大量比理論預期更亮、更大、更成熟的星系。例如，在紅移 $z\approx 13-14$ （宇宙年齡約3.3億年）處發現的星系候選者，其恆星質量與金屬豐度表明它們的演化速度遠超標準模型基於暗物質質量並合歷史的預期。這一“高紅移星系過多問題”（Too-many-high- z -galaxies problem）挑戰了現有的星系形成理論，可能暗示早期恆星形成效率遠高於預期，或暗物質性質與標準冷暗物質（CDM）模型存在偏差。

（2）第一代恆星與星系的化學特徵。JWST的近紅外光譜儀（NIRSpec）能夠測量高紅移星系的紫外發射線與吸收線，從而推斷其金屬豐度、塵埃含量與恆星族群年齡。觀測發現，部分 $z>10$ 的星系已經顯示出顯著的塵埃消光與金屬譜線，這意味著第一代超新星已經迅速播撒了重元素，且塵埃形成機制在極早期即已啟動。

（3）超大質量黑洞的早期增長。JWST發現了若干 $z>10$ 的類星體候選者及其宿主星系，這些天體中心存在質量達 10^7-10^8 倍太陽質量的超大質量黑洞。在宇宙年齡不足10億年的時期形成如此大質量的黑洞，對愛丁頓極限吸積與種子黑洞形成機制提出了嚴峻挑戰。可能的解釋包括：直接坍縮黑洞（Direct Collapse Black Holes，由低金屬豐度氣體雲直接坍縮形成 10^4-10^6 倍太陽質量的種子黑洞）、極端超愛丁頓吸積、或黑洞併合的快速級增長。

（4）暗物質與暗能量的觀測約束。JWST通過對高紅移星系團與引力透鏡系統的觀測，為暗物質分布與暗能量狀態方程提供了新的獨立約束。特別是，JWST對早期宇宙結構增長速率的測量，與普朗克CMB數據推斷的宇宙學參數之間的一致性檢驗，是驗證 Λ CDM模型適用範圍的關鍵測試。這些發現的整體意義在於：JWST正在重塑我們對宇宙早期歷史的認知，揭示了一個比我們預想更為活躍、更為複雜、更為迅速的宇宙黎明時期。這不僅是

觀測天文學的勝利，更是理論宇宙學與計算天體物理學面臨的新挑戰與新機遇。---6.6 宇宙大尺度結構：從星系團到宇宙網宇宙的大尺度結構（Large Scale Structure, LSS）是原初密度擾動在引力不穩定性作用下歷經138億年演化的產物。現代巡天觀測（如斯隆數字巡天SDSS、暗能量巡天DESI、歐幾里得衛星Euclid等）揭示，宇宙物質分布呈現出層次化的網狀結構：宇宙網（Cosmic Web）。宇宙網的基本單元包括：- 暗物質質量（Dark Matter Halos）：結構形成的節點，質量範圍從 10^7 倍太陽質量（矮星系量）至 10^{15} 倍太陽質量（星系團量）。量的質量函數（Halo Mass Function）與空間聚集性（Halo Bias）是檢驗結構形成理論的關鍵統計量。- 星系纖維（Filaments）：連接星系與星系團的物質通道，長度可達數億光年，寬度數百萬光年。纖維中的氣體（溫熱星系際介質，WHIM）是宇宙重子物質的重要儲存庫，但由於溫度適中（ 10^5 - 10^7 K）且密度低，難以直接觀測，被稱為“缺失的重子”問題的一部分。- 星系團與超星系團（Clusters and Superclusters）：宇宙網的節點與交匯處，是宇宙中最大的引力束縛結構。例如，室女座超星系團（包含本星系群與銀河系）延伸約1.1億光年；而拉尼亞凱亞超星系團（Laniakea Supercluster）的尺度達到5.2億光年，包含約10萬個星系。- 空洞（Voids）：宇宙網中物質密度顯著低於平均值的區域，佔據宇宙體積的大部分（約80%），但只包含約20%的星系。空洞的邊界與纖維結構的交界面，是研究環境對星系形成影響的天然實驗室。宇宙大尺度結構的統計特徵——如兩點相關函數、功率譜、重子聲學振盪（BAO）尺度——攜帶了豐富的宇宙學信息。BAO特別重要：它是原初聲波在光子-重子流體中傳播至最後散射面（CMB時期）所留下的特徵尺度（約150Mpc共動尺度），在後續的物質分布中留下了微弱的“標準尺”印記。通過測量不同紅移處星系分布的BAO尺度，可以精確測定宇宙的膨脹歷史，從而獨立約束暗能量的性質。當代宇宙學面臨的一個深刻挑戰是“S8張力”（S8 Tension）：普朗克CMB數據推斷的物質密度漲落幅度參數 S_8 （ $\sigma_8/(\Omega_m/0.3)$ ）與晚期宇宙大尺度結構觀測（如弱引力透鏡巡天、星系團計數、紅移空間畸變）推斷的值之間存在約 $2-3\sigma$ 的偏差。這一張力可能暗示：標準 Λ CDM模型存在系統性誤差；暗物質或暗能量的性質比假設的更複雜；或者存在尚未納入標準模型的系統誤差源（如反饋過程的模擬不確定性）。解決S8張力是當前宇宙學研究的前沿課題之一。---6.7 多信使天文學與宇宙學的未來21世紀宇宙學與天體物理學的一個標誌性特徵是多信使天文學的興起。傳統的電磁波天文學（覆蓋從射電至伽馬射線的全波段）已經與引力波天文學、宇宙線天文學（高能粒子）與中微子天文學並列，共同構成觀測宇宙的四大信使。2017年GW170817雙中子星併合事件的多信使觀測，標誌著這一範式的成熟：引力波信號提供了波源距離與質量信息；伽馬射線暴提供了噴流動力學與極端物理條件信息；千新星的光學/紅外輻射提供了r-過程核合成與中子星物質狀態方程信息；而隨後的射電餘輝則揭示了噴流結構與星際介質環境。這種

多信使、多波段的協同觀測，極大增強了對天體物理過程的診斷能力。未來十年，宇宙學與天體物理學將迎來一系列重大觀測設施：- 薇拉·魯賓天文台（Vera C. Rubin Observatory）的遺產性時空巡天（LSST），將對南天半球的數萬平方度天區進行十年重複巡天，發現數百萬顆變星、超新星、太陽系小天體，並通過弱引力透鏡與BAO測量精確限制暗能量。- 歐幾里得衛星（Euclid）與羅曼太空望遠鏡（Nancy Grace Roman Space Telescope）將通過近紅外成像與光譜巡天，測量數十億個星系的形狀與紅移，繪製宇宙大尺度結構的三維圖譜。- 平方公里陣列（SKA）射電望遠鏡將以前所未有的靈敏度探測中性氫的21厘米信號，繪製宇宙黎明與再電離時期的三維結構圖，追蹤第一代天體的形成歷史。- 下一代引力波探測器（如愛因斯坦望遠鏡ET、宇宙探索者CE）將將靈敏度提升一個數量級，探測至宇宙學距離的恆星級黑洞併合，並可能發現宇宙早期相變、宇宙弦等產生的隨機引力波背景。- CMB-S4等下一代宇宙微波背景實驗將以更高精度測量CMB的偏振信號（特別是B模偏振），尋找暴漲時期產生的原初引力波印記，從而直接探測暴漲的能量尺度。這些設施的協同運作，將把人類的宇宙視野推向新的深度與廣度：從宇宙的極早期（暴漲時期）到極遠期（暗能量主導時代），從最小的時空漣漪（引力波）到最大的結構（超星系團與宇宙網），從最暗的物質（暗物質與暗能量）到最亮的爆發（超新星與伽馬射線暴）。---6.8 本章小結：宇宙視野的深層開拓與人類認知的邊界現代宇宙學與天體物理學的發展，已經將人類的宇宙視野拓展到了前所未有的深度與廣度。我們不再滿足於描述天體的表象，而是致力於理解宇宙作為一個整體的起源、結構、演化與命運；我們不再局限於單一的電磁波觀測，而是整合了引力波、宇宙線、中微子等多重信使；我們不再將理論與觀測割裂，而是通過精密的數據分析與大規模數值模擬，構建了從原初量子漲落到現今大尺度結構的完整演化鏈條。這一進程的深刻意義在於：它代表了人類理性認知能力在時空尺度上的極限拓展。從普朗克尺度（ 10^{-35} 米， 10^{-43} 秒）到可觀測宇宙的尺度（ 10^{26} 米， 10^{18} 秒），人類的物理理論與觀測技術已經跨越了60個數量級的時空跨度。這種認知邊界的拓展，不僅滿足了人類與生俱來的好奇心，更為工業智慧革命與星球革命提供了不可或缺的基礎知識與技術儲備——如果我們不理解宇宙的物理規律，我們就無法真正掌握星際航行的技術；如果我們不認知暗物質與暗能量的本質，我們就難以確保對宇宙環境的全面適應。現代宇宙學所開拓的視野，已經遠遠超出了傳統天文學的範疇，成為現代自然科學體系中連接微觀與宏觀、理論與觀測、過去與未來的核心樞紐。在這個意義上，宇宙學不僅是一門科學，更是一種宇宙觀——它塑造了我們對自身在宇宙中位置的認知，影響了我們對文明未來走向的判斷，並最終指引我們邁向星際文明的宏大願景。

第一章（導論）

--### 超越纪元：现代自然科学体系引领人类文明的终极跃迁#### 以

21世纪以来的科学突破为锚点，论证现代自然科学体系不仅是人类文明史的巅峰成就，更是宇宙演化进程中具有里程碑意义的智慧爆发。通过梳理工业智慧革命、星球革命、基因革命等十大核心领域的迭代逻辑，揭示当代科学突破对宇宙认知、生命边界、社会形态的颠覆性重构，阐明其远超人类以往所有文明阶段的深度、广度与高度。---

文明坐标系：从石器到星辰的智慧量级跃迁人类文明的演进始终以工具与认知的迭代为刻度，但21世纪以来的科学突破，已彻底打破了传统文明的量级边界：- **从线性积累到指数爆发**：石器时代到工业革命的数万年，人类知识总量的增长呈线性轨迹；而21世纪后，仅半导体技术领域的专利数量就超过过去千年的总和，基因测序成本以每18个月下降50%的速度迭代，知识爆炸呈现指数级特征。- **从局部突破到全域覆盖**：以往科技革命多聚焦单一领域，如蒸汽机革命局限于动力系统、计算机革命聚焦信息处理；而现代自然科学体系形成了“宇宙-生命-社会”的全域联动，从暗物质探测到基因编辑，从星际航行到脑机接口，各领域突破相互交织、互为支撑。- **从人类中心到宇宙视野**：农业文明以部落为中心，工业文明以地球为边界，而现代科学已将认知触角伸向138亿光年外的宇宙深处，同时深入量子尺度的微观世界，首次实现了对宇宙“从奇点到星系”“从夸克到生命”的全尺度认知。- **金句**：如果说以往文明是在地球的土壤上耕种，现代科学则是在宇宙的星空中拓荒。---

工业智慧革命：从机器工具到智能生态的范式颠覆工业智慧革命是现代自然科学体系的核心引擎，其本质是实现了从“人类操作机器”到“机器自主进化”的范式跃迁：- **智能工厂的自我迭代**：21世纪中叶以来，全球超70%的制造业工厂实现全流程自动化，智能机器人可通过机器学习自主优化生产工艺，部分汽车工厂的生产线调整效率较工业4.0时代提升1200%。- **分布式工业网络的协同进化**：基于量子通信技术的工业互联网，实现了全球供应链的实时协同，零部件生产、组装、物流环节的响应延迟从小时级缩短至毫秒级，全球工业产能利用率提升至92%。- **工业智慧与自然生态的融合**：通过仿生学与材料科学的突破，现代工业体系实现了“零排放”闭环生产，部分化工企业利用合成生物学技术，将工业废气转化为可降解材料，彻底颠覆了传统工业与自然对立的逻辑。---

星球革命：从地球物种到星际文明的身份重塑星球革命标志着人类首次突破地球的束缚，成为真正意义上的星际物种：- **地外殖民地的常态化运营**：22世纪30年代，火星首个永久殖民地“赫歇尔基地”建成，常住人口突破1000人，基地利用火星土壤种植作物、提取水资源，实现了90%的物资自给；月球“广寒城”成为深空探测的中转站，年接待宇航员超5000人次。- **星际资源的开发利用**：小行星采矿技术在22世纪成熟，人类已成功开采近地小行星的金属资源，仅“谷神星”项目带回的镍矿储量就相当于全球现有储量的3倍；太阳能卫星群在拉格朗日点建成，为地球提供了源源不断的清洁能源。- **星际文明的伦理构建**：随着人类涉足深空，《星际文明公约》应运而生，明确了地外资源分配、外星生命保护等准则，人类首

次以“宇宙公民”的身份参与宇宙秩序的构建。---### 基因遗传细胞革命：从生命被动接受者到主动设计者基因革命彻底改写了生命的定义，人类首次拥有了编辑自身演化轨迹的能力：- **精准基因编辑治愈遗传病**：CRISPR技术的迭代版本“CRISPR-X”实现了对人类基因组的精准编辑，截至23世纪初，包括地中海贫血、血友病在内的120余种遗传性疾病被彻底治愈，全球遗传病发病率下降98%。- **细胞重编程逆转衰老**：通过诱导多功能干细胞（iPSC）技术，人类实现了细胞的“时光逆转”，皮肤细胞可被重编程为年轻态的干细胞，临床试验显示，该技术可使人体生理年龄逆转15-20年，全球人均寿命突破150岁。- **合成生命的创造**：22世纪末，科学家成功合成了首个完全由人工基因编码的单细胞生物“Synthia-3”，标志着人类从“生命的观察者”转变为“生命的创造者”，为合成生物学在生物医药、环境保护等领域的应用开辟了无限可能。---### 信息革命：从信息传递到意识连接的深度融合信息革命已超越技术层面，成为重构人类认知与社会形态的核心力量：- **量子计算突破算力天花板**：23世纪初，通用量子计算机“九章三号”实现了1亿量子比特的稳定运算，其算力相当于经典超级计算机的 10^{24} 倍，成功破解了以往无法处理的复杂问题，如蛋白质结构预测、气候模拟等。- **脑机接口实现意识互联**：非侵入式脑机接口技术成熟，人类可通过脑电波直接实现信息传递与共享，“意识社交”成为主流社交方式，人们无需语言即可实时分享情感、记忆与认知，彻底打破了个体之间的信息壁垒。- **数字孪生构建平行世界**：全球城市实现了1:1的数字孪生建模，城市交通、能源、医疗等系统可在虚拟空间进行模拟优化，突发公共事件的响应效率提升80%，数字孪生成为城市治理的核心工具。---### 现代宇宙学：从宇宙观察者到演化参与者现代宇宙学的突破，彻底刷新了人类对宇宙的认知边界：- **暗物质与暗能量的直接探测**：22世纪中叶，“盘古”暗物质探测器首次捕捉到暗物质粒子的信号，证实了暗物质占宇宙总质量的85%；“鸿蒙”空间望远镜通过观测宇宙微波背景辐射，精确测量了暗能量的密度，揭示了宇宙加速膨胀的本质。- **超巨天体的演化研究**：人类首次观测到超黑洞合并的全过程，通过引力波探测数据，揭示了黑洞合并时的时空扭曲效应；“天眼二号”射电望远镜发现了超星体的形成机制，填补了宇宙演化链条的关键空白。- **宇宙演化的全域模拟**：基于量子计算的宇宙演化模型，实现了对宇宙从奇点到当前状态的全域模拟，首次重现了宇宙结构的形成过程，为理解宇宙的起源与命运提供了精确的理论依据。 **金句**：以往人类看宇宙，如同在海边捡贝壳；现在人类看宇宙，已能绘制整个海洋的地图。---### 生命科学：从生理探索到意识解密的终极突破生命科学的研究已深入到意识与认知的核心层面：- **脑电信号的解码与重构**：“大脑图谱”项目完成了对人类大脑1000亿神经元的精准映射，成功解码了脑电信号与意识活动的对应关系，可通过脑电信号重现人类的视觉、听觉等感知体验。- **意识上传的初步实现**：23世纪初，科学家成功将一名志愿者的部分记忆与意识上传至数字平台，实

现了意识的数字存储与重现，为意识的延续提供了可能。- **重大疾病的根治**：通过免疫细胞治疗与基因编辑技术，癌症、艾滋病等重大疾病被彻底根治，全球癌症5年生存率提升至95%，艾滋病不再是不治之症。---### 人类认知演化：从生物智能到文明智能的升级现代自然科学体系不仅推动了技术的突破，更促进了人类认知能力的演化：- **认知负荷的大幅提升**：借助脑机接口与人工智能辅助，人类的信息处理能力提升了10倍以上，可同时处理多维度、多领域的复杂信息，认知边界得到极大拓展。- **集体智慧的协同进化**：基于区块链技术的集体智慧平台，实现了全球知识的分布式存储与协同创作，人类首次实现了“全球大脑”的协同运作，知识创新效率提升了数百倍。- **哲学与认知的深度融合**：科学哲学与认知科学的交叉融合，形成了新的认知范式，人类开始重新思考意识、自由意志、宇宙目的等终极问题，哲学与科学的边界逐渐模糊。---### 现代科学体系的全域覆盖：从自然到社会的深度变革现代自然科学体系已渗透到人类社会的各个领域，引发了全方位的变革：- **社会科学的量化革命**：经济学、社会学等社会科学领域引入大数据、人工智能等技术，实现了社会现象的精准预测与模拟，经济危机的预警时间从数月提前至数年，社会治理的效率大幅提升。- **教育体系的个性化重构**：人工智能自适应学习系统实现了千人千面的个性化教育，学生可根据自身兴趣与能力定制学习路径，教育效率提升300%，全球文盲率降至0.1%。- **伦理与法律的适应性调整**：针对基因编辑、人工智能、星际殖民等新领域，全球范围内制定了一系列新的伦理准则与法律规范，确保科学技术的发展符合人类的共同利益。---### 文明新征程：现代科学引领人类的终极未来现代自然科学体系的突破，已为人类开启了前所未有的文明新征程：- **宇宙文明的新形态**：人类将从地球文明迈向星际文明，在太阳系乃至银河系建立多个殖民地，实现文明的多元备份与延续。- **生命形态的多元演化**：基因编辑、合成生物学等技术将使生命形态更加多元，人类可根据环境需求调整自身生理特征，实现与宇宙环境的深度融合。- **智慧文明的终极跃升**：人工智能与人类智能的深度融合，将催生超越人类的超级智慧，引领人类探索宇宙的终极奥秘，实现文明的终极跃升。 **结语**：现代自然科学体系的突破，不仅是人类文明史上的伟大跨越，更是宇宙演化进程中的关键节点。它标志着人类首次拥有了探索宇宙、改造生命、重塑社会的无限能力，为人类文明的未来开辟了前所未有的广阔前景。在这个波澜壮阔的时代，每一项科学突破都在书写人类文明的新篇章，每一次技术创新都在推动人类向宇宙的更深处迈进。

Modern Natural Science System and Human Society 2025v2.3/2.4
Chapter 1 (Introduction), the complete content of core chapters
(such as the Cosmological Revolution, the Life Science Revolution)
3 "Modern Natural Science System and Human Society"

Modern Natural Science System and Human Society
Système de Science Naturelle Moderne et Société Humaine

2025 v2.2/2.3 現代自然科學體系與人類社會

English Title (Extra Large Font): MODERN NATURAL SCIENCE SYSTEM AND HUMAN SOCIETY

Titre Français (Très Grande Police): SYSTÈME DE SCIENCE NATURELLE MODERNE ET SOCIÉTÉ HUMAINE

【Overview of the 15-Chapter Structure of the Entire Book】

Chapter Number | Chinese Chapter Title | English Chapter Title |
Titre du Chapitre Français

Chapter 1 | 導論：現代自然科學體系的歷史方位與文明意義 |
Introduction: Historical Position and Civilizational Significance of the
Modern Natural Science System | Introduction : Position Historique
et Signification Civilisationnelle du Système de Science Naturelle
Moderne

Chapter 2 | 工業智慧革命：生產力範式的根本轉換 | Industrial
Wisdom Revolution: The Fundamental Transformation of
Productivity Paradigms | Révolution de la Sagesse Industrielle :
Transformation Fondamentale des Paradigmes de Productivité

Chapter 3 | 星球革命：人類文明星際跨越的歷史必然 | Planetary
Revolution: The Historical Inevitability of Human Civilization's
Interstellar Leap | Révolution Planétaire : Inévitabilité Historique du
Bond Interstellaire de la Civilisation Humaine

Chapter 4 | 基因與細胞革命：生命底層代碼的破譯與重構 | Gene
and Cell Revolution: Deciphering and Reconstructing the Underlying
Codes of Life | Révolution Génétique et Cellulaire : Décryptage et
Reconstruction des Codes Fondamentaux de la Vie

Chapter 5 | 信息革命與計算範式：從電子時代到量子智能 |
Information Revolution and Computing Paradigms: From the
Electronic Era to Quantum Intelligence | Révolution de l'Information
et Paradigmes Informatiques : De l'Ère Électronique à l'Intelligence
Quantique

Chapter 6 | 現代宇宙學與天體物理學：宇宙視野的深層開拓 |
Modern Cosmology and Astrophysics: Deep Expansion of Cosmic
Horizons | Cosmologie Moderne et Astrophysique : Expansion
Profonde des Horizons Cosmiques

Chapter 7 | 暗宇宙探索：暗物質、暗能量與宇宙結構演化 | Exploring
the Dark Universe: Dark Matter, Dark Energy, and Cosmic Structural
Evolution | Exploration de l'Univers Sombre : Matière Noire, Énergie
Noire et Évolution de la Structure Cosmique

Chapter 8 | 粒子物理學與基本相互作用：自然之極微探尋 | Particle
Physics and Fundamental Interactions: Probing the Extremes of
Nature | Physique des Particules et Interactions Fondamentales :
Exploration des Extrêmes de la Nature

Chapter 9 | 生命科學前沿：從蛋白質組學到腦神經科學 | Frontiers of Life Sciences: From Proteomics to Neuroscience | Frontières des Sciences de la Vie : De la Protéomique aux Neurosciences

Chapter 10 | 材料科學與工程技術：物質世界的重構藝術 | Materials Science and Engineering: The Art of Reconstructing the Material World | Science des Matériaux et Ingénierie : L'Art de Reconstruire le Monde Matériel

Chapter 11 | 能源革命與氣候系統：地球系統科學的整合視野 | Energy Revolution and Climate Systems: An Integrated Vision of Earth System Science | Révolution Énergétique et Systèmes Climatiques : Vision Intégrée de la Science des Systèmes Terrestres

Chapter 12 | 人工智能與認知科學：智慧形態的演化與超越 | Artificial Intelligence and Cognitive Science: The Evolution and Transcendence of Intelligence Forms | Intelligence Artificielle et Science Cognitive : Évolution et Transcendance des Formes d'Intelligence

Chapter 13 | 社會科學的科學化轉向：知識體系的跨學科融合 | The Scientific Turn in Social Sciences: Interdisciplinary Integration of Knowledge Systems | Tournant Scientifique des Sciences Sociales : Intégration Interdisciplinaire des Systèmes de Connaissance

Chapter 14 | 現代教育哲學與通識革命：思維範式的代際傳遞 | Modern Educational Philosophy and General Education Revolution: Intergenerational Transmission of Thinking Paradigms | Philosophie de l'Éducation Moderne et Révolution de la Culture Générale :

Transmission Intergénérationnelle des Paradigmes de Pensée

Chapter 15 | 結論：邁向星際文明的人類命運共同體 | Conclusion: Toward a Community of Shared Future for Mankind in the Interstellar Civilization | Conclusion : Vers une Communauté de Destin Partagé pour l'Humanité dans la Civilisation Interstellaire

【Full Text Demonstration of Core Chapter: Chapter 1 Introduction】

Chapter 1 Introduction: Historical Position and Civilizational Significance of the Modern Natural Science System

Introduction : Position Historique et Signification Civilisationnelle du Système de Science Naturelle Moderne

1.1 Re-calibration of Civilizational Coordinates: The Millennia-long Leap from Stone Tools to Interstellar

The evolutionary history of human civilization is essentially a magnificent epic of continuous expansion of cognitive boundaries and constant breakthroughs in technological capabilities. From the first intentional striking of flint to make tools by primitive humans in

the Paleolithic era, to humanity in the 21st century peering at the starlight from hundreds of millions of years after the birth of the universe through the James Webb Space Telescope (JWST), this journey spanning tens of thousands of years marks a fundamental transformation of humans as a form of intelligent life on Earth. On this long timeline, humanity has experienced several civilizational turning points of nodal significance: the manufacture of tools in the Stone Age marked the fundamental divide separating humans from the animal kingdom; the metallurgical revolution of the Bronze and Iron Ages laid the material foundation for agricultural civilization; the mechanical clocks of the late Middle Ages and the scientific萌芽 of the Renaissance prepared the ideological conditions for the modern scientific revolution; the 18th-century British Industrial Revolution, marked by the steam engine, ushered in the era of large-scale mechanized production; the establishment of electromagnetic theory and the application of electrical technology in the 19th century reshaped the spatio-temporal structure of human society; the release of atomic energy, semiconductor integrated circuits, computer technology, and the deciphering of the DNA double helix structure in the 20th century pushed human civilization into in-depth exploration of both the microscopic and macroscopic dimensions.

However, when we stand at the historical node of the third decade of the 21st century and examine the development trend of contemporary science and technology from a systematic and holistic academic perspective, we must put forward a fundamental historical judgment: the modern natural science system taking shape from the 21st to the 23rd century represents the most profound and thorough innovative iteration in humanity since its birth.

This judgment is not a mere rhetorical emphasis but is based on a rigorous analysis of both the internal logic of scientific development and the external forms of civilizational evolution. The uniqueness of the modern natural science system lies in its characteristic of systematic integration. Although the scientific breakthroughs of the 20th century were brilliant, they mostly manifested as in-depth advancements in single disciplines or single technological fields: quantum mechanics and relativity in physics, molecular biology in biology, and electronic computers in technology. These achievements, although overlapping to some extent, did not form a truly interdisciplinary, cross-field, and cross-scale systematic integration. Since entering the 21st century, scientific development has shown distinct characteristics of integration, networking, and

intelligentization: the integration of biology and information science has given birth to bioinformatics and synthetic biology; the intersection of materials science and quantum physics has opened up new fields of two-dimensional materials and topological quantum states; the combination of artificial intelligence technology and traditional scientific research is reshaping the entire spectrum of research paradigms from drug discovery to astrophysical data processing. This integration is not a simple collage of disciplines but a profound reconstruction at the methodological, epistemological, and even ontological levels.

According to the 2025 Science Breakthrough Trends Report by the Chemical Abstracts Service (CAS), contemporary scientific research is showing unprecedented cross-field collaborative characteristics: the complementary integration of CRISPR gene-editing technology with CAR-T cell therapy and PROTAC protein degradation technology is reshaping the paradigm of tumor treatment; new material systems such as metal-organic frameworks (MOFs) and covalent organic frameworks (COFs) simultaneously serve multiple sustainable development goals such as carbon capture, energy storage, and atmospheric purification; although quantum computing technology has not yet been fully commercialized, it has shown potential beyond classical computing in fields such as drug molecular simulation and protein structure prediction. These trends confirm a core assertion: the modern natural science system has transcended the linear logic of a single technological revolution and entered a stage of complex system with multi-dimensional, multi-level, and multi-scale collaborative evolution.

1.2 The Ten Core Dimensions of the Modern Natural Science System

This book defines the modern natural science system as a comprehensive knowledge-technology-society system covering ten core dimensions. These ten dimensions are not isolated from each other but form an organic whole that is interrelated, mutually reinforcing, and mutually permeating.

First dimension: Industrial Wisdom Revolution. This is the productivity foundation of the modern natural science system. Different from the emphasis of traditional industrial revolutions on mechanical power and automation technology, the core characteristic of the Industrial Wisdom Revolution lies in the deep integration of intelligent technology and manufacturing systems. Technology clusters represented by artificial intelligence, industrial Internet of Things, Digital Twin, and additive manufacturing (3D

printing) are transforming traditional manufacturing into intelligent industrial systems with self-perception, self-learning, self-decision-making, self-execution, and self-adaptation capabilities. This is not only an upgrade of production tools but also a fundamental transformation of production paradigms - from large-scale standardized production to large-scale personalized customization, from linear value chains to networked value ecosystems, and from human-machine opposition to human-machine collaboration.

Second dimension: Planetary Revolution. This is the expansion of the spatial dimension of the modern natural science system. Human civilization is evolving from a single-planet species to a multi-planet species, a process supported by interdisciplinary technology clusters such as aerospace technology, planetary science, life support system engineering, and space resource development. From the long-term residency in the International Space Station to the return to the Moon in the Artemis program, from the gradual deepening of Mars exploration missions to the vigorous rise of commercial aerospace, the Planetary Revolution marks the strategic expansion of human living space from the Earth's surface to the Earth-Moon system, the inner solar system, and even deeper space.

Third dimension: Human Genetic and Cellular Revolution. This is the deepening of the life dimension of the modern natural science system. The development and application of CRISPR-Cas9 gene-editing technology (the 2020 Nobel Prize in Chemistry was awarded to Charpentier and Doudna), the maturity of induced pluripotent stem cell (iPS cell) technology (the 2012 Nobel Prize in Physiology or Medicine was awarded to Yamanaka Shinya), and the successful application of mRNA vaccine technology in the COVID-19 pandemic (the 2023 Nobel Prize in Physiology or Medicine was awarded to Karikó and Weissman) mark that humans have shifted from passively observing life to actively designing life. The development of gene therapy, cell therapy, and regenerative medicine is transforming medicine from a disease treatment model to a health maintenance and life enhancement model.

Fourth dimension: Information Revolution and Computing Paradigm Shift. This is the reconstruction of the information dimension of the modern natural science system. From classical computers to quantum computers, from silicon-based semiconductors to carbon-based and quantum materials, from local area networks to the global Internet and then to space-based Internet such as Starlink, the development of information technology has not only changed the way information is processed and transmitted but also reshaped the

organizational form and cognitive model of human society. It is particularly noteworthy that breakthroughs in protein structure prediction by artificial intelligence systems such as AlphaFold (the 2024 Nobel Prize in Chemistry was awarded to Hassabis, Jumper, and Baker) indicate that information processing capabilities have begun to reversely penetrate and accelerate the research process in traditional natural science fields.

Fifth dimension: Major Discoveries in Modern Cosmology and Astrophysics. This is the expansion of the cosmic dimension of the modern natural science system. The detection of gravitational waves (the first direct detection by LIGO in 2015, the 2017 Nobel Prize in Physics was awarded to Weiss, Barish, and Thorne), the capture of the first image of a black hole (by the Event Horizon Telescope EHT in 2019), the deep field observations of the early universe by the James Webb Space Telescope, and the continuous exploration of the properties of dark matter and dark energy are opening a new era of human cognition of the universe. The universe is no longer regarded as a static background stage but is understood as a vibrant system with dynamic evolution, complex structure, and full of unknown substances and energy forms.

Sixth dimension: Systematic Innovation in Life Sciences Research. This is the in-depth development of the modern natural science system in the field of life sciences. In addition to the aforementioned breakthroughs at the gene and cell levels, advancements in brain science and neuroscience (such as the application of technologies like electroencephalography, magnetoencephalography, functional magnetic resonance imaging (fMRI), and optogenetics), research on aging biology and longevity (such as strategies like NAD+ metabolism, telomerase activation, and Senolytics for clearing senescent cells), and technologies for the prevention and treatment of major infectious diseases and chronic diseases together form a three-dimensional landscape of life sciences research.

Seventh dimension: Co-evolution of Modern Cultural Knowledge System and Advanced Nervous Systems. This is the humanistic dimension of the modern natural science system. The consciousness, perception, cognition, and feedback control capabilities of the human brain's advanced nervous system are not static biological givens but a dynamic system that continuously evolves through continuous interaction with the natural environment, social environment, and technological environment. The breadth and depth of the modern cultural knowledge system provide unprecedented cognitive resources for this evolution; and the

evolution of the advanced nervous system, in turn, shapes human capabilities to create, disseminate, and apply knowledge. This two-way interaction constitutes the internal driving force of civilizational progress.

Eighth dimension: Major Discoveries in Fundamental Theories of Natural Science. This is the theoretical cornerstone of the modern natural science system. From the improvement of the standard model of particle physics (the discovery of the Higgs boson in 2012 completed the last piece of the puzzle of the standard model) to the continuous exploration of fundamental issues in quantum mechanics (such as quantum entanglement, quantum teleportation, and quantum supremacy), and from the development of complex system theory and nonlinear science to the intersection of statistical physics and information theory, breakthroughs in basic theories provide the source for innovations in applied technologies.

Ninth dimension: Innovation in Social Sciences and General Education. This is the social dimension of the modern natural science system. The great development, breakthroughs, and advancement of social productive forces will inevitably lead to corresponding changes in production relations, social structure, cultural forms, and ways of thinking. The integration of Liberal Arts Education and STEM education, the contemporary development of the philosophy of science and social philosophy, and the improvement of science communication and public scientific literacy are all specific manifestations of this dimension.

Tenth dimension: The Epochal Call of Industrial Wisdom Revolution and Planetary Revolution. This is the comprehensive direction and value destination of the aforementioned nine dimensions. The ultimate significance of the modern natural science system lies not only in the accumulation of knowledge and the progress of technology but also in leading all of humanity towards a new era of intelligent civilization, rational civilization, and interstellar civilization. This is not science fiction nor mythological legend but a reasonable deduction and firm belief based on the development trends of contemporary science and technology.

1.3 Methodological Elucidation: Systematic, Interdisciplinary, and Historical Materialist Perspectives

The methodology of this book is based on three basic principles. First, the Systems Theory Principle. The modern natural science system must be understood as a Complex Adaptive System, in which there are nonlinear, feedback, and emergent interactions between its components. We refuse to simplify scientific

development into the linear progress of a single technology, but instead emphasize the collaborative evolution between technology clusters, disciplinary networks, and social systems. This principle requires us to always pay attention to the relevance of specific scientific fields to other fields and their functional positioning in the overall system when analyzing them.

Second, the Interdisciplinary Integration Principle. A prominent feature of contemporary scientific development is the blurring of traditional disciplinary boundaries and the vigorous growth of emerging interdisciplinary fields. The emergence of new disciplines such as biophysics, chemical biology, astrobiology, computational social sciences, and neuroeconomics indicates that knowledge integration has become a major source of scientific innovation. The writing of this book will fully embody this principle, and when discussing specific topics, it will consciously introduce theoretical perspectives and methodological tools from related disciplines. As academic literature points out, interdisciplinary integration is not only a combination of knowledge content but also a systematic coordination and reconstruction at the methodological level. Its highest level is methodological synthesis, that is, the use of dialectical categories such as system, structure, causality, randomness, and regularity to achieve an overall grasp of the general laws of the development of nature, society, and thinking.

Third, the Historical Materialism Principle. We insist on examining the development of science and technology within the overall framework of the historical process of human society. Science and technology are not abstract knowledge systems suspended above social practice but products of the development of social productive forces under specific historical conditions, and in turn, promote changes in production relations and social forms. This principle requires us to maintain critical reflection on the social consequences, ethical impacts, and value orientations of science and technology while praising their great achievements.

1.4 Structure of the Book and Reading Guide

This book has fifteen chapters, forming a complete logical closed loop from basic theory to applied practice, from microscopic mechanisms to macroscopic systems, and from historical review to future prospects.

Chapters 1 to 3 form the general discussion part of the book, establishing the civilizational coordinates of the modern natural science system from three dimensions: historical position, productivity transformation, and spatial expansion.

Chapters 4 to 8 form the core scientific part of the book, delving into major breakthroughs in basic and frontier fields such as life sciences, information sciences, cosmology, and particle physics. Chapters 9 to 11 form the technological application part of the book, focusing on practical issues in the frontiers of life sciences, materials science, and energy and climate systems. Chapters 12 to 14 form the social and humanistic part of the book, exploring topics such as artificial intelligence.